



XIX COBREAP | Foz do Iguaçu

INOVAÇÕES CIENTÍFICAS E TECNOLÓGICAS

**CONGRESSO BRASILEIRO DE
ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS**

21 a 25 agosto de 2017

Hotel Mabu Thermas Grand Resort
Foz do Iguaçu / PR / Brasil

PATOLOGIA EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO EM AMBIENTE MARÍTIMO

ANA CAROLINA VALERIO NADALINI

ADRIELLE DE OLIVEIRA BISPO



O Conteúdo dos trabalhos técnicos apresentados no COBREAP é de inteira responsabilidade dos seus autores.

XIX COBREAP - CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS – FOZ DO IGUAÇU – 2017

PATOLOGIA EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO EM AMBIENTE MARÍTIMO

RESUMO

Nesse trabalho foi realizado um levantamento e análise das principais manifestações patológicas nas estruturas de concreto armado de uma unidade de destilação, de uma refinaria de petróleo localizada à beira mar. O estudo de caso foi realizado através de inspeções visuais das estruturas objetos do estudo, afim de analisar as manifestações patológicas existentes, identificar as causas dessas manifestações e sugerir métodos de reparo para as estruturas estudadas. Com a realização do estudo, foi verificado que os principais fatores que promovem a degradação das estruturas estão relacionados à alta agressividade do ambiente, associada ao cobrimento insuficiente das armaduras (falha de projeto) e ao não cumprimento do plano de manutenção disponibilizado. Também foi verificada a necessidade de aplicação de proteção superficial das estruturas, devido à alta agressividade do ambiente.

Palavras-chave: Patologia do Concreto, Estrutura, Corrosão, Agressividade, Recuperação.

1. INTRODUÇÃO

O concreto é um material muito empregado em todo o mundo, devido à diversos fatores tais como: proporcionar vida útil às construções a um custo relativamente baixo, matéria prima abundante e presente em praticamente todos os lugares do planeta, adaptar-se a diversos locais e circunstâncias pelas suas características e propriedades, possuir versatilidade de modelagem, facilidades de execução, dentre outros fatores.

O uso do concreto sem o adequado controle de qualidade, seja na fase de projeto, execução ou na sua utilização pode acarretar o aparecimento das mais diversas manifestações patológicas estruturais, no caso do concreto armado, que é uma associação do concreto com o aço (no concreto armado, o concreto resiste as tensões de compressão e aço as de tração), as patologias afetam ambos os materiais, gerando problemas estéticos ou até mesmo comprometendo a segurança e funcionalidade da estrutura.

De acordo com (SOUZA; RIPPER, 1998) a Patologia das Estruturas é o campo da Engenharia das Construções que se ocupa do estudo das origens, formas de manifestações, consequências e mecanismos de ocorrência das falhas e dos sistemas de degradação das estruturas. As patologias são os principais problemas que comprometem a vida útil e durabilidade das construções.

Baseando-se nesse contexto, essa pesquisa tem o objetivo realizar uma análise das principais manifestações patológicas de uma unidade industrial (em uma refinaria de petróleo) localizada em ambiente marítimo, identificar suas origens e propor soluções e técnicas de recuperação apropriadas dessas estruturas. A motivação para realização dessa pesquisa, decorre do fato da Refinaria em questão localizar-se à beira mar, o que torna o ambiente altamente agressivo às estruturas de concreto.

Para isso, foi realizado um estudo de caso da unidade em questão, através de visitas ao local, realização de inspeções visuais, levantamento de dados das estruturas, das características ambientais e das condições de uso. Foram correlacionadas cada uma das manifestações patológicas com as suas devidas origens, além de ter sido verificado se as patologias estavam relacionadas à severidade das condições ambientais ou a outros fatores, tais como falha de projeto ou execução, falta de manutenção ou condições inadequadas de uso.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para alcance dos objetivos citados, o artigo foi elaborado de acordo com as seguintes etapas:

- Pesquisa Bibliográfica sobre os temas relacionados com a patologia estrutural, afim de criar um bom embasamento para o trabalho. As fontes bibliográficas foram compostas por livros que tratam das patologias estruturais, normas, dissertações e outros artigos científicos;
- Pesquisa de documentos no setor de engenharia da empresa em questão, afim de coletar dados sobre os projetos das estruturas, dados das características ambientais onde a estrutura está inserida, assim como dados da composição atmosférica do ambiente, relatórios das condições das estruturas estudadas, relatórios de processos de recuperação aos quais as estruturas tenham sido submetidas, informações sobre o planejamento de manutenção, além de ter sido solicitado o parecer do engenheiro responsável sobre as condições das estruturas estudadas;
- Visitas ao local onde estão inseridas as estruturas estudadas, afim de realizar inspeções visuais e tirar fotografias das mesmas, 25 estruturas diferentes selecionadas aleatoriamente foram analisadas afim de verificar a porcentagem de cada patologia identificada;
- Estudo investigativo das patologias identificadas durante a visita, afim de identificar suas causas e propor soluções adequadas.

3. PATOLOGIA DAS ESTRUTURAS

Designa-se genericamente por Patologia das Estruturas o campo da Engenharia das Construções que se ocupa do estudo das origens, formas de manifestação, consequências e mecanismos de ocorrência das falhas e dos sistemas de degradação das estruturas. No entanto, a Patologia da Estrutura não é apenas campo de estudo no aspecto da identificação e conhecimento das anomalias, mas também no que se refere à concepção e ao projeto das estruturas, e, mais amplamente, à própria formação do engenheiro civil (SOUZA; RIPPER, 1998).

Em geral os danos que se manifestam nas estruturas de concreto constituem indícios de comportamento irregular de componentes do sistema, devendo ser devidamente avaliados e adequadamente corrigidos para que não venha a comprometer as condições de estabilidade e segurança do elemento danificado ou até da edificação. Esse tipo de dano ou defeito caracteriza o que chamamos de manifestações patológicas e é objeto da ciência identificada como Patologia (AZEVEDO, 2011). As patologias podem ter diversas origens, como falhas no projeto ou execução das estruturas que relacionam-se com o conceito de desempenho e durabilidade ou pelo envelhecimento natural da estrutura que relaciona-se com o conceito de vida útil. A associação destes três conceitos é inevitável e se correlacionam e até mesmo se confundem, porém existem diferenças entre cada um.

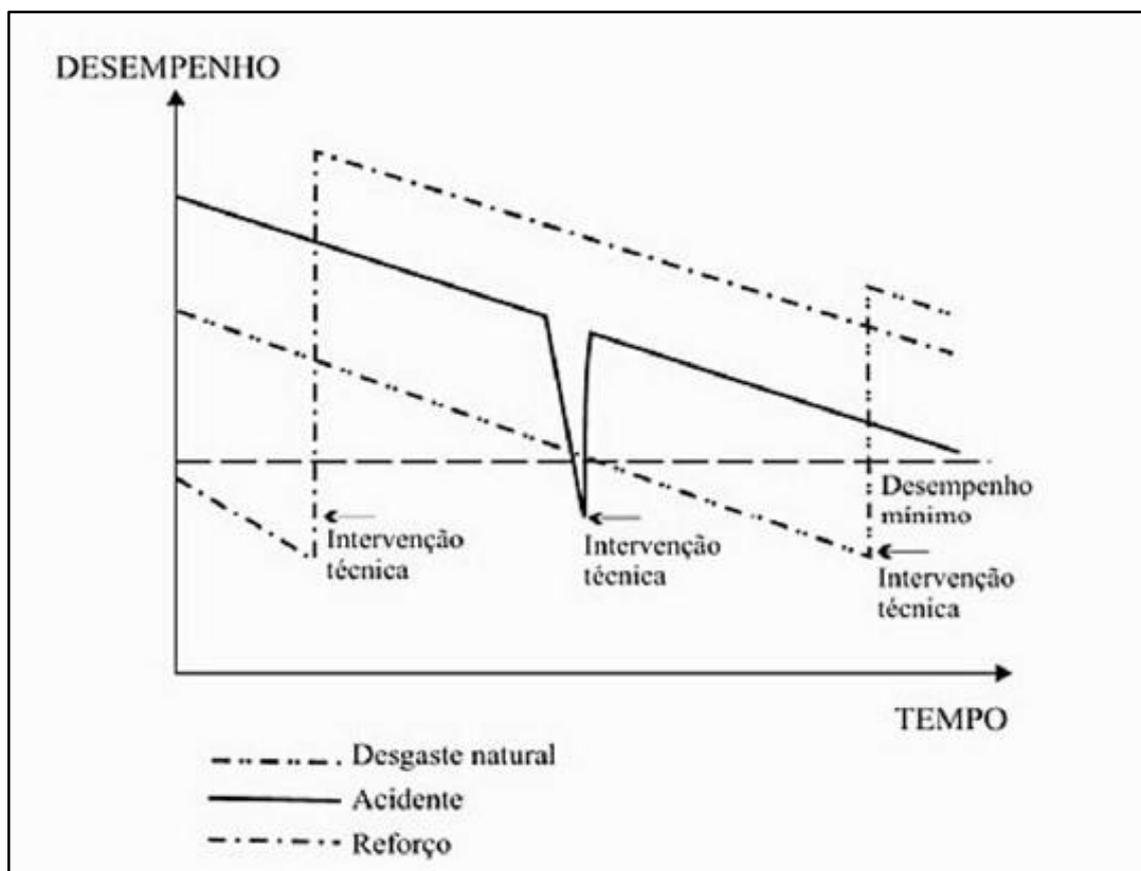
- **Desempenho**

Segundo (SOUZA; RIPPER, 1998), por desempenho entende-se o comportamento em serviço de cada produto, ao longo da vida útil, e a sua medida relativa espelhará, sempre, o resultado do trabalho desenvolvido nas etapas de projeto, construção e manutenção. Acontece que, no entanto, as estruturas e seus materiais deterioram-se mesmo quando existe um programa de manutenção bem definido, sendo esta deterioração, no limite, irreversível.

O ponto em que cada estrutura, em função da deterioração, atinge níveis de desempenho insatisfatórios varia de acordo com o tipo de estrutura. Algumas delas, por falhas de projeto ou de execução, já iniciam as suas vidas de forma insatisfatória, enquanto outras chegam ao final de suas vidas úteis projetadas ainda mostrando um bom desempenho.

Na Figura 1 são representadas, genericamente, três diferentes histórias de desempenhos estruturais, ao longo das respectivas vidas úteis, em função da ocorrência de fenômenos patológicos diversos.

Figura 1 – Diferentes desempenhos de uma estrutura, com o tempo em função de diferentes fenômenos patológicos



Fonte: Souza & Ripper (1998)

No primeiro caso, representado pela curva traço-duplo ponto, está ilustrado o fenômeno natural de desgaste da estrutura. Quando há a intervenção, a estrutura se recupera, voltando a seguir a linha de desempenho acima do mínimo exigido para sua utilização.

No segundo caso, representado por uma linha cheia, trata-se de uma estrutura sujeita, a dada altura, a um problema súbito, como um acidente, por exemplo, que necessita então de imediata intervenção corretiva para que volte a comportar-se satisfatoriamente.

No terceiro caso, representado pela linha traço-monoponto, tem-se uma estrutura com erros originais, de projeto ou de execução, ou ainda uma estrutura que tenha necessitado alterar seus propósitos funcionais, situações em que se caracteriza a necessidade de reforço.

A situação ideal, em relação a uma estrutura, será a de se desenvolver o projeto de forma que a construção possa ser bem feita e o trabalho de manutenção facilitado, mantendo-se a deterioração em níveis mínimos.

- **Durabilidade**

Segundo (SOUZA; RIPPER, 1998), conhecidas, ou estimadas, as características de deterioração do material concreto e dos sistemas estruturais, entende-se como durabilidade o parâmetro que relaciona a aplicação destas características a uma determinada construção, individualizando-a pela avaliação da resposta que dará aos efeitos da agressividade ambiental, e definindo, então, a vida útil da mesma.

A (ABNT NBR 6118, 2014) define durabilidade como sendo a capacidade da estrutura em resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e o contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto. Segundo essa mesma norma, as estruturas de concreto armado devem ser projetadas e construídas de modo que, sob as condições ambientais previstas na época do projeto e quando utilizadas conforme preconizado em projeto, conservem sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o período correspondente à sua vida útil.

De acordo com (SILVA, 1993), para se obter uma estrutura de concreto durável, a qual ficará exposta à atmosfera agressiva, deve-se tomar os seguintes cuidados:

- Selecionar uma forma arquitetônica apropriada no estágio inicial do projeto, a fim de verificar arranjos estruturais susceptíveis de desproporcionalidade e garantir acesso a todas as partes críticas da estrutura para inspeção e manutenção;

- Os materiais constituintes do concreto não devem conter elementos nocivos ao mesmo;

- Estudo de uma dosagem adequada;

- A mistura, lançamento e adensamento, deverá fornecer um concreto homogêneo, não segregado e com uma estrutura fechada: garantir uma cura adequada ao concreto;

- A espessura do cobrimento mínimo deve atender a NBR 6118/2014;

- Evitar ou limitar as fissuras;

- Utilizar proteção superficial, em meios muito agressivos;

- Os cantos e bordas dos elementos estruturais devem ser arredondados, para evitar locais de concentração de agentes deletérios

- **Vida útil**

De acordo com a (ABNT NBR 6118, 2014) por vida útil de projeto, entende-se o período de tempo durante o qual se mantêm as características das estruturas de concreto, sem intervenções significativas, desde que atendidos os requisitos de uso e manutenção prescritos pelo projetista e pelo construtor, bem como de execução dos reparos necessários decorrentes de danos acidentais. O conceito de vida útil aplica-se à estrutura como um todo ou às suas partes. Dessa forma, determinadas partes das estruturas podem merecer consideração especial com valor de vida útil diferente do todo, como, por exemplo, aparelhos de apoio e juntas de movimentação.

3.1. Ações do Meio Ambiente sobre as Estruturas de Concreto

Os estudos sobre a durabilidade do concreto levam em consideração fatores tais como sua composição (tipo de agregado, tipo de cimento e o aço utilizado), sua mistura (relação água cimento, uso de aditivos, etc.) e às técnicas construtivas aplicadas (condições de cura, adensamento, etc.). Além desses aspectos deve-se levar em conta também características do meio ambiente onde essa estrutura está inserida. Os tópicos abaixo falam sobre a influência de algumas características ambientais na durabilidade das estruturas de concreto. Listou-se apenas aspectos que influenciam significativamente a agressividade do ambiente estudado.

- **Temperatura**

De acordo com (LIMA, 2011), A influência da temperatura tende a ser ignorada nas definições dos processos de degradação. No entanto, sua influência é extremamente importante, uma vez que as reações químicas de degradação são aceleradas com o aumento de temperatura. Segundo GEHO-CEB (1993 apud (LIMA, 2011)), um aumento de 10°C dobra a velocidade das reações. Este fator faz com que os ambientes tropicais sejam consideravelmente mais agressivos que os climas do norte da Europa por exemplo.

O ambiente estudado, além de ter clima tropical, é exposto a altas temperaturas, pois muitos equipamentos e tubulações da unidade trabalham com fluidos em altas temperaturas.

- **Chuva, umidade relativa e tempo de superfície úmida**

A maior ou menor incidência de chuvas e a umidade relativa do ambiente comandam a presença e disponibilidade de água para que as reações de degradação possam acontecer. A disponibilidade de água nos poros do concreto também está associada com os mecanismos de transporte. Os mecanismos de transporte regem as trocas com o meio ambiente e a disponibilidade de água livre para participar e propiciar as reações de degradação. Esses mecanismos de transporte fazem com que, constantemente, a estrutura troque água e substâncias com meio ambiente. A presença de umidade no interior dos poros interfere, por exemplo, na velocidade de corrosão das armaduras. O processo de corrosão das armaduras é eletroquímico e necessita de água para que os íons possam se movimentar e gerar correntes de corrosão (LIMA, 2011).

Como foi citado, as estruturas estudadas localizam-se numa zona marítima onde a umidade relativa do ar é alta e tem muita incidência de chuvas, esses fatores favorecem o processo de degradação das estruturas.

- **Chuva ácida**

O ambiente industrial lança na atmosfera uma série de compostos que, dependendo das condições, precipitam-se de forma seca ou úmida na superfície das construções. A chuva ácida é resultante da combinação dos gases presentes na poluição atmosférica com o hidrogênio presente na atmosfera sob a forma de vapor de água. A chuva ácida apresenta um pH entre 4,5 e 2,2. Por consequência disso, as águas da chuva ficam carregadas de compostos agressivos, principalmente ácido

sulfúrico, que ao atingir as estruturas de concreto, provocam sua degradação, principalmente dissolução da matriz cimentícia (LIMA, 2011).

- **Poluentes**

A presença de substâncias agressivas na atmosfera também é um fator muito importante a ser considerado quando se trata de degradação das estruturas de concreto causada por fatores ambientais. O dióxido de carbono, CO₂, presente na atmosfera, por exemplo, é um dos principais fatores desencadeantes do processo de carbonatação do concreto e da conseqüente corrosão da armadura. A carbonatação, ou seja a reação do CO₂ com os compostos hidratados do cimento, principalmente o Ca(OH)₂, resulta na formação de carbonato de cálcio (CaCO₃) e água. Por conseqüência o pH do concreto baixa, alterando as condições de estabilidade da película de passivação da aço e gerando condições favoráveis para que tenha início a corrosão da armadura, uma das patologias que mais afeta e degrada as estruturas de concreto.

A degradação das estruturas de concreto devida à presença de substâncias na atmosfera também pode estar relacionada com a presença de partículas sólidas, que se depositam na superfície das peças estruturais e, com a ocorrência de chuvas, criam ambiente propício para a dissolução da matriz (LIMA, 2011).

Essas características variam de acordo com o tipo de ambiente que a estrutura está inserida, e a maior ou menor severidade desses fatores citados representam uma maior ou menor agressividade ambiental, a agressividade ambiental varia segundo as condições de exposição da estrutura ou de suas partes. De acordo com a (ABNT NBR 6118, 2014) agressividade ambiental é classificada conforme a Figura 2:

Figura 2 – Classes de agressividade ambiental (CAA)

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a	Grande
		Industrial ^{a, b}	
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c}	Elevado
		Respingos de maré	

^a Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

^b Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: ABNT NBR 6118 (2014)

De acordo com a classe de agressividade determina-se o cobrimento mínimo e a qualidade do concreto a ser utilizado na execução das estruturas (Figuras 3 e 4):

Figura 3 – Determinação do cobrimento mínimo

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV ^c
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje ^b	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo ^d	30		40	50
Concreto protendido ^a	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

^a Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

^b Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm.

^c Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

^d No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

Fonte: ABNT NBR 6118 (2014)

Figura 4 – Determinação da qualidade do concreto

Concreto ^a	Tipo ^{b, c}	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	$\leq 0,65$	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
	CP	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,50$	$\leq 0,45$
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	$\geq C20$	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C40$
	CP	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C35$	$\geq C40$

^a O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.

^b CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.

^c CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Fonte: ABNT NBR 6118 (2014)

O ambiente estudado é marinho e industrial, de acordo com a Figura 2 e classifica-se na classe de agressividade muito forte, classe IV.

A corrosão das armaduras é o fenômeno mais típico de estruturas de concreto expostas à atmosfera marinha. Trata-se de um processo eletroquímico no qual há um ânodo e um cátodo. A água presente no concreto serve de eletrólito. Assim, qualquer diferença de potencial entre pontos pode gerar uma corrente, iniciando a corrosão. (NAKAMURA, 2004).

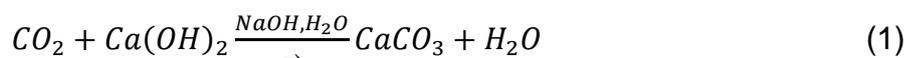
A corrosão das armaduras está diretamente relacionada a essas características ambientais e pode ser causada pelos seguintes mecanismos:

- Despassivação por Cloretos: consiste na ruptura local da camada de passivação, causada por elevado teor de íon-cloro. As medidas preventivas consistem em dificultar o ingresso dos agentes agressivos ao interior do concreto (ABNT NBR 6118, 2014).

Como a atmosfera do ambiente estudado é marinha, existe uma concentração alta de íons cloreto, esses íons são transportados até as estruturas de concreto através do vento e da chuva, depositam-se na superfície das estruturas e são conduzidos pela água através dos poros e das possíveis fissuras e microfissuras existentes no concreto, quando o cloreto atinge a armadura ocasiona a sua despassivação e daí em diante inicia-se o processo de corrosão.

- Despassivação por Carbonatação: é a despassivação por carbonatação, ou seja, por ação do gás carbônico da atmosfera sobre o aço da armadura. A atmosfera local é rica em CO₂ que é um dos principais fatores desencadeantes do processo de carbonatação, como foi citado anteriormente.

Segundo (BERTOLINI, 2010), o dióxido de carbono presente na atmosfera pode reagir com os compostos alcalinos presentes na solução dos poros do concreto (NaOH, KOH), mas também na matriz de cimento sob a forma de Ca(OH)₂ (portlandita) e de sílico-aluminatos hidratados. A reação de carbonatação, que se produz em solução aquosa através de várias reações intermediárias, pode ser resumida assim:



Quando a reação de carbonatação chega à superfície da armadura, a película passivadora é destruída e inicia-se o processo de corrosão da armadura.

Um outro fator que influencia a ocorrência da corrosão da armadura é o revestimento insuficiente. A unidade estudada foi construída na década de 90, nessa época não existia referência normativa brasileira que determinasse o revestimento mínimo, sendo assim, grande parte das estruturas foram executadas com revestimento insuficiente, esse é um fator que facilita o acesso de substâncias agressoras às armaduras, facilitando o processo de corrosão.

4. RESULTADOS

Inicialmente foi realizado o planejamento das atividades, com o objetivo de estabelecer os recursos a serem utilizados, incluindo os acessos e autorizações. Em seguida deu-se início as atividades de campo, onde o exame das estruturas foi dividido da seguinte forma:

Pesquisa de Documentação Local: nesta etapa realizou-se o reconhecimento dos elementos estruturais, suas disposições, localizações, levantamento das características ambientais, análise dos projetos e verificação dos planos de manutenção.

Inspeção Visual das Estruturas: foi realizada inspeção visual das estruturas afim de verificar suas condições, bem como correlacionar as anomalias com as suas causas prováveis. Nessa etapa também foi realizado o registro fotográfico das estruturas estudadas.

4.1. Contextualização da unidade estudada

Algumas evidências sobre o cobrimento utilizado na execução das estruturas estudadas e data do projeto podem ser vistas na Figura 5 e na Figura 6

Figura 5 – Dados do projeto

NOTAS GERAIS	NOTAS GERAIS
1-DIMENSÕES EM CENTÍMETROS, ELEVÇÕES E COORDENADAS EM METROS E BITOLA DAS ARMADURAS EM MILÍMETROS.	1. DIMENSÕES EM CENTÍMETRO
2-COBRIMENTO DAS ARMADURAS: SAPATA = 4,0 cm VIGAS BALDRAME = 3,0 cm PILARES E VIGAS = 2,5 cm	2. RESISTÊNCIA DO CONCRETO : $f_c \geq 20 \text{ MPa}$.
	3. COBRIMENTO DOS FERROS = 3cm.
	4. PARA DETACHE DOS CHUMBADORES VER LI-5220-82110-122-UTC-004
	5. PARA LOCAÇÃO DOS CHUMBADORES VER DETALHE NO SUPORTE QUE SE APOIARÁ SOBRE A BASE
	6. O INSERTO TIPO "F" SERÁ APLICADO SOMENTE PARA OS SUPORTE FS-01,02,03,04

Fonte: Adaptado do Arquivo técnico da empresa (2016)

Figura 6 – Data do projeto

Nº PROJETO		2714 - 22037 - 1 - 209	
CONTRATO Nº	EMPRESA	ENGENHEIRO	
2.847.478.0.87	ENGENH. EVERALDO R. TRONCARELLI	ENGENH. EVERALDO R. TRONCARELLI	
	CREA Nº	50.451 / D 69R	
NÚMERO DA R. L. A. M.		32 A 00269	
UNID. CLASSE NÚMERO			
CLIENTE OU USUÁRIO			
EMPREENHIMENTO OU PROGRAMA			
EMBASE			
ÁREA OU UNIDADE			
DESTILAÇÃO ATMOSFÉRICA E A VÁCUO U-32			
TÍTULO			
BASES PARA EQUIPAMENTOS FORNOS A VÁCUO B-3203 A/B - ESCADA FUNDAÇÃO, PILARES E VIGAS - ARMAÇÃO			
PROJ.	A.E.M.	DES.	VERIF.
		NOGUEIRA	J.T.M.
ESCALA	FOLHA		REV.
1:50 - 1:25	66		B
DATA	NÚMERO		REV.
27/03/89	DE-5220-82112 -122-AEM-209		B

Fonte: Adaptado do Arquivo técnico da empresa (2016)

Na planilha abaixo pode-se visualizar as manifestações patológicas levantadas, a quantidade de ocorrências de cada patologia e suas causas:

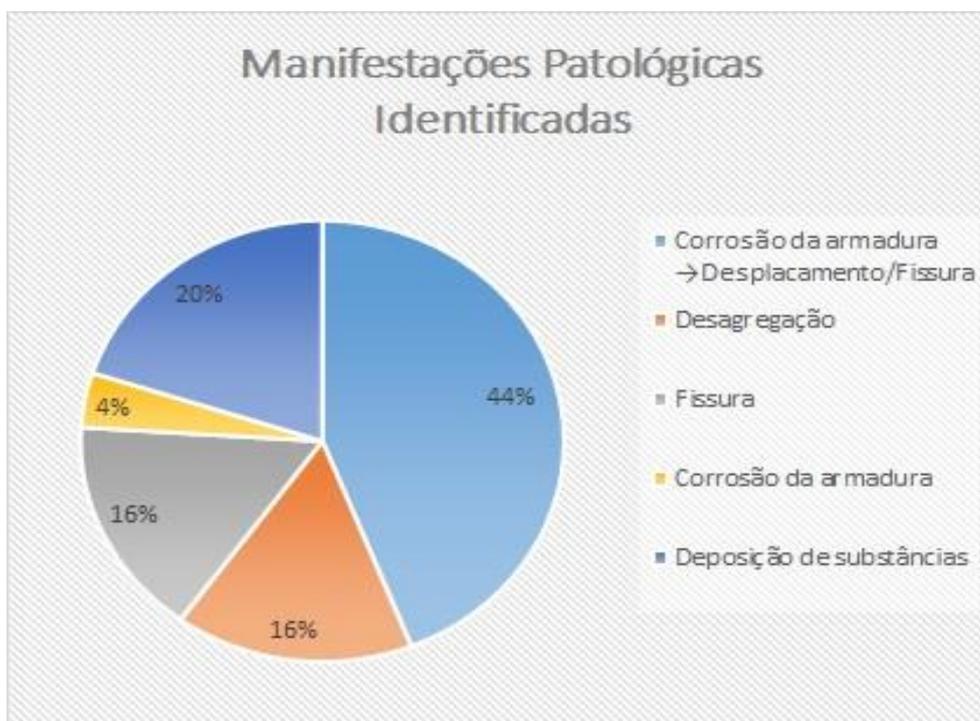
Figura 7 – Quadro das Manifestações Patológicas identificadas

Manifestação Patológica	Quantidade	Causa
Corrosão da armadura → Fissura/Desplacamento	11	Agressividade do ambiente Cobrimento insuficiente
Desagregação	4	Vibração de tubulação/equipamento
Fissura	4	Vibração de tubulação Falha de execução Material
Corrosão da armadura	1	Cobrimento insuficiente
Deposição de substâncias	5	Agressividade do ambiente Falha de projeto

Fonte: Elaborado Pelo Autor (2016)

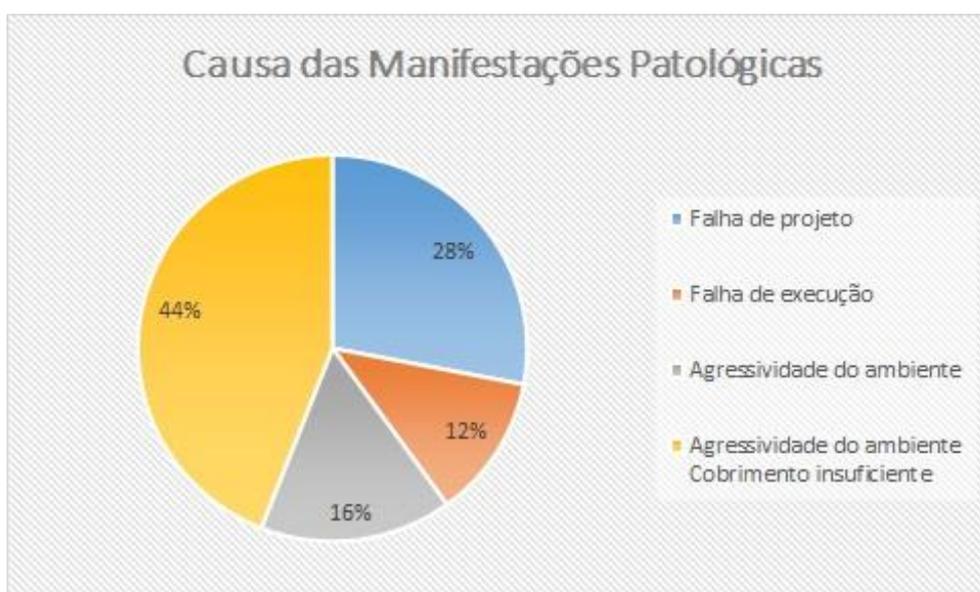
Os gráficos das Figura 8 e Figura 9 mostram a porcentagem de cada manifestação patológica identificada e de suas causas:

Figura 8 – Gráfico das Manifestações Patológicas identificadas



Fonte: Elaborado Pelo Autor (2016)

Figura 9 – Gráfico das Causas das Manifestações Patológicas identificadas



Fonte: Elaborado Pelo Autor (2016)

Como pode ser verificado no gráfico da Figura 8, a corrosão da armadura seguida de fissuração e deslocamento do concreto é a manifestação patológica que mais ocorre no ambiente estudado.

Essa manifestação está associada a várias causas, porém a mais agravante delas é a agressividade do meio ambiente, pois as estruturas estão num ambiente industrial e marítimo. De acordo com a NBR 6118/2014 classifica-se na classe de agressividade muito forte, classe IV, portanto a atmosfera possui uma alta concentração de cloretos e outros poluentes (CO₂, SO₂, CO, H₂S, CH₄, etc.).

4.2. Características ambientais da unidade estudada

A localidade estratégica da refinaria estudada serve para diminuição do custo com a logística do transporte devido a sua proximidade com o mar. Pelo porto construído ao lado, os produtos do refino ganham com a facilidade do escoamento através dos navios. Por outro lado, as estruturas de concreto armado sofrem com o ambiente salino que impregna nas paredes acelerando o processo de degradação e corrosão, principalmente pela ação dos íons cloreto.

Outra característica peculiar da refinaria é a concentração de gases poluentes presentes na atmosfera gerados como subprodutos do processo de refino, que degradam o concreto diminuindo a sua vida útil (H₂S, NO_x, SO_x, CO, CO₂, CH₄, dentre outros). Há também a geração de fuligem e compostos sólidos que prejudicam a estrutura ao longo do tempo. O CO₂ presente na atmosfera é um fator a mais na contribuição da degradação do concreto armado, pois é o principal responsável pelas reações de carbonatação e aceleram a corrosão das armaduras.

4.3. Patologias identificadas

O levantamento das patologias estruturais foi realizado através da análise de estruturas de concreto armado, tais como: vigas e pilares dos *pipe racks* (suportes das tubulações), bases de apoio para suportes metálicos de tubulações, escadas de acesso aos diversos níveis da unidade e bases de equipamentos em geral. Pôde-se perceber, que as estruturas, além de estarem expostas ao ambiente agressivo, ainda são submetidas a grandes fatores físicos, como altas vibrações e temperaturas, além da exposição a vapores, óleos graxas, etc., devido às características particulares do processo químico que nela ocorre, o que prejudica a durabilidade da estrutura.

As estruturas, objetos de estudo desse trabalho, foram executadas numa época em que as recomendações normativas para definição de cobrimento mínimo de estruturas de concreto armado eram menos rigorosas. São da década de 90, possuem aproximadamente 25 anos, excetuando-se aquelas que já foram recuperadas. Dessa forma, percebe-se que elas não apresentaram um bom desempenho, pois são estruturas relativamente novas e já apresentam sérios problemas patológicos. A (ABNT NBR 15575-1, 2013) impõe para as estruturas de concreto armado uma vida útil de projeto de 50 anos, desde que os seus usuários atendam às exigências do manual de utilização, inspeção e manutenção citado no item 25.3 da (ABNT NBR 6118, 2014).

Essas estruturas precisariam passar por processos de manutenção para preservar suas características. A empresa em questão possui plano de manutenção das estruturas de concreto armado, porém ela não cumpre com esse plano, pois não realiza nenhuma das manutenções preventivas recomendadas, apenas atua

corretivamente, recuperando as estruturas que já se encontram comprometidas esteticamente e estruturalmente. Este é um ponto muito negativo e compromete significativamente a durabilidade das estruturas.

Para realização do estudo das manifestações patológicas do objeto de estudo, selecionou-se 25 estruturas aleatoriamente, afim de fazer um levantamento estatístico dos tipos de patologias identificadas e de suas origens. As manifestações patológicas levantadas estão listadas abaixo:

4.3.1. Corrosão da armadura seguida de fissura/desplacamento

A alta agressividade do ambiente, associada ao revestimento insuficiente favorece o processo de corrosão da armadura que é causado comumente pela carbonatação ou pelo ataque por cloretos.

As armaduras de aço no concreto são protegidas da corrosão graças às condições de passividade que se desenvolvem em contato com a solução alcalina contida nos poros da pasta de compostos de cimento. A corrosão das armaduras pode, porém, ser induzida pela carbonatação do concreto ou pela penetração de cloretos (BERTOLINI, 2010).

Como consequência do processo de corrosão ocorrem as fissuras e posterior deslocamento do revestimento de concreto, de acordo com (SOUZA; RIPPER, 1998), tal fato acontece porque, ao oxidar-se, o ferro vai criando o óxido de ferro hidratado ($Fe_2O_3 \cdot nH_2O$). Para ocupar o seu espaço, esse óxido exerce uma pressão sobre o material que o confina da ordem de 15 MPa, suficiente para fraturar o concreto. Abaixo na Figura 10 e na Figura 11 pode-se visualizar estruturas com essa manifestação patológica:

Figura 10 – Corrosão da armadura



Fonte: Elaborado Pelo Autor (2016)

Figura 11 – Corrosão da armadura



Fonte: Elaborado Pelo Autor (2016)

4.3.2. Desagregação do concreto

Segundo (SOUZA; RIPPER, 1998), deve-se entender como desagregação a própria separação física de placas ou fatias de concreto, com perda de monolitismo e, na maioria das vezes, perda também da capacidade de engrenamento entre os agregados e da função ligante do cimento. Como consequência, tem-se que uma peça com seções de concreto desagregado perderá, localizada ou globalmente, a capacidade de resistir aos esforços que a solicitam. A desagregação pode ser uma consequência das fissuras.

Os problemas de desagregação identificados foram causados pela vibração excessiva das tubulações e equipamentos que se apoiam nas bases de concreto inspecionada. Esse problema está diretamente associado a falha de projeto, pois as estruturas não foram projetadas para suportar essas vibrações. Pode ser visualizado na Figura 12 e na Figura 13:

Figura 12 – Desagregação



Fonte: Elaborado Pelo Autor (2016)

Figura 13 – Desagregação



Fonte: Elaborado Pelo Autor (2016)

4.3.3. Fissuras

As fissuras podem ser definidas como descontinuidades de pequena abertura induzidas pela ação de forças que provocam o aparecimento de tensões de tração que superam a capacidade resistente do material componente da estrutura. Em muitos casos a fissura ocorre devido à fenômenos de retração ou térmicos, pode decorrer também de movimentações da estrutura ou devido a erros de dimensionamento (SILVA; HELENE, 2011).

De acordo com (BAUER, 2013) há dois tipos distintos de fissuras, quanto a movimentação, uma são as fissuras "vivas", com movimentação; e outra, as estabilizadas ou sem movimentação, denominadas "mortas". Além do aspecto antiestético e a sensação de pouca estabilidade que apresenta uma peça fissurada, os principais perigos decorrem da corrosão da armadura, e penetração de agentes agressivos externos, no concreto.

Um dos problemas de fissuração identificado foi similar aos de desagregação, causado pela vibração excessiva das tubulações que se apoiam na base

inspecionada. Os outros três problemas restantes, foram causados pela má execução da recuperação estrutural, devido à baixa aderência entre o graute utilizado e a estrutura existente e cura mal executada. Uma das estruturas fissuradas pode ser vista na Figura 14:

Figura 14 – Fissuras



Fonte: Elaborado Pelo Autor (2016)

4.3.4. Corrosão da armadura

O concreto oferece ao aço uma dupla proteção. Primeiro uma proteção física, separando o aço do contato direto com o meio externo e, segundo, uma proteção química, conferida pelo elevado pH do concreto, o qual promove a formação de uma película passivadora que envolve o aço. A formação e estabilidade dessa película têm relação com a elevada alcalinidade da solução aquosa presente nos poros do concreto (FIGUEIREDO; MEIRA, 2013).

Na escada da Figura 15 pode-se perceber que a armadura está exposta, dessa forma ela não possui no ponto da exposição, proteção física e nem química, ficando susceptível à ocorrência do processo de corrosão, que depois de iniciado propaga-se por toda a armadura. Essa manifestação foi originada devido a falha na etapa de execução da estrutura, pois a mesma foi executada sem nenhum cobrimento.

Figura 15 – Corrosão da armadura



Fonte: Elaborado Pelo Autor (2016)

4.3.5. Deposição de substâncias

O ambiente estudado possui muito material particulado presente na atmosfera, principalmente fuligem dos fornos utilizados nos processos (Figura 16), ocorre também a deposição de sais provenientes do processo de carbonatação ou sais presentes no vapor d'água provenientes da brisa marinha que cristalizam na superfície do concreto (Figura 17). Com a ocorrência de chuvas, esses materiais degradam o concreto.

Figura 16 – Deposição de substâncias



Fonte: Elaborado Pelo Autor (2016)

Figura 17 – Deposição de substâncias



Fonte: Elaborado Pelo Autor (2016)

4.4. Técnicas de reparo

Os serviços de reforço requerem sempre a prévia elaboração de trabalhos de cálculo estrutural, sejam estes serviços derivados de necessidade de alteração na funcionalidade da estrutura - aumento da carga de utilização, por exemplo - ou como consequência de danificação sofrida pela estrutura, casos em que o reforço estará inserido nos trabalhos de recuperação (SOUZA; RIPPER, 1998).

A escolha dos materiais e da técnica de correção a ser empregada depende do diagnóstico do problema, das características da região a ser corrigida e das exigências de funcionamento do elemento que vai ser objeto da correção. Por exemplo, nos casos de elementos estruturais que necessitam ser colocados em carga após algumas horas da execução da correção, pode ser necessário e conveniente utilizar sistemas de base epóxi ou poliéster. Nos casos de prazos um pouco mais dilatados (dias), pode ser conveniente utilizar argamassas e "grautes" de base mineral e nas condições normais de solicitação (após vinte e oito dias) os materiais podem ser argamassas e concretos adequadamente dosados (HELENE, 1988).

Abaixo são sugeridas técnicas de reparo de acordo com manifestação patológica identificada:

4.4.1. Estruturas com corrosão da armadura seguida de fissura/desplacamento

Para a recuperação de estrutura com substituição de armaduras, inicialmente deve-se realizar o corte da estrutura (remoção profunda do concreto degradado), de acordo com (SOUZA; RIPPER, 1998) o corte de concreto justifica-se sempre que houver corrosão do aço das armaduras, já implantada ou com possibilidades de vir a acontecer, como no caso de concreto segregado, e deve garantir não só a remoção integral do concreto degradado, como também a futura imersão das barras em meio alcalino. Para tanto, o corte deverá ir além das armaduras, em profundidade, pelo menos 2 cm ou o diâmetro das barras da armadura, devendo-se atender à mais desfavorável das situações, caso a caso. É fundamental e indispensável que o corte afete apenas o concreto degradado, sem ferir o concreto sã, o que seria contra a segurança e antieconômico.

Em função da profundidade do corte pode ser necessário utilizar escoramento que deve seguir as seguintes etapas:

- Executar escarificação manual dentro da área limitada, utilizando martelões ou ponteiro, talhadeira e marreta, retirando o material solto, segregado ou mal compactado, até atingir o concreto sã, dando acabamento áspero às superfícies remanescentes e tomando-se o cuidado de não danificar a estrutura adjacente;
- As superfícies devem ser planas, com cantos e arestas arredondados – o uso de ferramentas manuais facilita a execução dos detalhes;
- Remover a corrosão das armaduras existentes por meio de escovamento com escova de cerdas de aço, lixamento manual ou jateamento abrasivo com escória de cobre ou granalha de aço;

De acordo com (SOUZA; RIPPER, 1998) é costume adotar-se o princípio de que a necessidade de adição de uma nova barra existe sempre que a redução da seção da barra corroída tiver ultrapassado 15 %. Então caso a armadura tenha sua

seção reduzida em 15 % é necessário utilizar barras adicionais, de acordo com os cálculos estruturais do projeto de recuperação.

A complementação pode ser realizada por traspasse, solda ou luvas rosqueáveis, conforme orientação da (ABNT NBR 6118, 2014). A escolha da solução mais adequada deverá ser feita no momento da recuperação, avaliando a situação e posição, entre outros fatores, além das recomendações da (ABNT NBR 6118, 2014) e da (ABNT NBR 14931, 2004).

Ressalta-se que é preciso evitar dobramentos excessivamente próximos às regiões soldadas e que o limite para emendas por traspasse em uma mesma seção é de 25 % das barras, ainda devem ser seguidas as seguintes recomendações:

- Limpar as superfícies com jato de ar comprimido, de forma a remover poeiras, partículas soltas ou qualquer material que possa prejudicar a aderência do reparo, iniciando das partes mais altas da cavidade para baixo nas superfícies verticais, deixando as superfícies ásperas, limpas e secas;
 - Realizar a passivação do ambiente que envolve a armadura, através da aplicação de inibidores de corrosão;
 - Executar as formas;
 - Aplicação abundante de água fria, limpa e sem contaminantes, o material de reparo deve ser aplicado com o substrato ainda úmido;
 - Aplicação do graute de recomposição, usa-se o graute devido a profundidade do material cortado e a necessidade aplicar cargas na estrutura recuperada com brevidade;
 - A cura deve ser controlada.

4.4.2. Estruturas desagregadas

As estruturas que sofreram desagregação deverão ter a camada do revestimento recomposta e caso e no caso dos suportes de tubulações deverão ser redimensionadas e reconstruídas, pois as estruturas atuais não resistem aos esforços causados pela vibração das tubulações.

4.4.3. Estruturas fissuradas

Uma das estruturas fissuradas é um suporte de tubulação, esta deverá ser recalculada e reconstruída, pois a estrutura atual não resiste aos esforços causados pela vibração da tubulação. Para as demais estruturas, não foi possível realizar ensaios para detectar se estas são fissuras ativas ou passivas, ou seja, se com o passar do tempo sua espessura varia ou não, caso a fissura seja ativa sua causa deve ser identificada, caso contrário o seu fechamento não será efetivo, pois em seguida ela será formada novamente ou pode-se criar uma barreira para evitar o transporte de gases e líquidos para o interior da fissura.

Já nos casos passivos, para além do estabelecimento do dispositivo protetor, há que se garantir que a peça volte a funcionar como um todo, monoliticamente, ou

seja, há que se fechar a fissura, o que é conseguido pela injeção de um material aderente e resistente, normalmente resina epoxídica (SOUZA; RIPPER, 1998).

4.4.4. Estrutura com corrosão da armadura

Nesse caso pode-se realizar o mesmo reparo do item 3.2.1, e garantir que haja um revestimento mínimo para evitar o processo de corrosão volte a ocorrer.

4.4.5. Deposição de substâncias

Nesse caso a melhor solução é realizar periodicamente a lavagem da estrutura e caso seja economicamente viável aplicar uma pintura para proteger a estrutura.

4.5. Sugestões de técnicas de conservação

A técnica mais viável para promover o aumento da durabilidade das estruturas estudadas é a aplicação de proteção superficial, como a aplicação de uma ou mais demãos de tinta, verniz ou hidrofugante dependendo da composição do concreto e das características do ambiente. Na presença de ambiente extremamente agressivos, pode ser necessária a aplicação de algum sistema de proteção superficial às estruturas de concreto, que lhes permita atingir uma durabilidade adequada (KAZMIERCZAK, 2011).

Esses sistemas podem ser impermeabilizantes, quando há a formação de uma película sobre a superfície do concreto ou hidrofugante, quando a película não é formada. De acordo com (KAZMIERCZAK, 2011), a classificação dos sistemas de proteção em função da existência de película pode ser:

- **Sistemas impermeabilizantes formadores de película**

Os sistemas impermeabilizantes formadores de película formam, após sua cura, uma película contínua, semiflexível e de baixa permeabilidade, denominados, usualmente, de tintas e vernizes.

Em função da formação da película, impedem ou minimizam o contato de elementos agressivos com a superfície do concreto. Podem ser utilizados na proteção contra a carbonatação, a penetração de cloretos e o ataque ácido, entre outros.

Os sistemas formadores de película mais utilizados para a proteção superficial do concreto, no Brasil, são o látex PVA, látex acrílico, poliuretano e epóxi.

- **Sistemas hidrofugante de poro aberto**

Os sistemas hidrofugante de poro aberto penetram nos poros capilares da superfície do concreto e alteram o ângulo de contato entre as paredes desses poros e a água, tornando o concreto hidrorrepelente. Impedem a penetração de água por capilaridade, mas, por não formarem película, permitem a passagem de vapor de água e gases. Não alteram o aspecto superficial do concreto.

Os produtos utilizados são os silicones, representados, no Brasil, pelos silanos, siloxanos e siliconatos conjugados com silanos e siloxanos.

O quadro a seguir, adaptado de Browne (1987 apud (KAZMIERCZAK, 2011)), apresenta um resumo de algumas propriedades dos sistemas de proteção.

Figura 18 – Quadro de comparação entre propriedades de alguns sistemas de proteção superficial ao concreto

Sistema de proteção	Proteção			Aplicação			Durabilidade		
	Resistência à penetração de CO ₂	Resistência à permeabilidade do vapor	Resistência à penetração de Cl ⁻	Compatibilidade com substrato úmido	Facilidade de aplicação	Resistência aos álcalis	Durabilidade frente a U.V.	Vida útil da resina	Facilidade de repintura
Acrílica	A	M	M	A	A	M	M	M	A
Poliuretano	A	B	A	B	B	A	M	A	B
Epóxi	A	B	A	B	B	A	B	A	B
Silicones (Silanos/Siloxanos)	B	B	A	M	A	A	A	A	A

Nível de proteção: A = alta, M = média, B = baixa.

Fonte: adaptado de Browne (1987 apud Kazmierczak (2011))

Observando o quadro, pode-se dizer, de forma genérica, que o material mais indicado para proteção superficial das estruturas de concreto do ambiente estudado seria o poliuretano, pois o mesmo possui alto nível de resistência à penetração de (CO₂) e (Cl⁻), que são os principais agentes agressores identificados. Porém, essa referência não é suficiente para escolha do sistema de proteção, para isso deve ser realizado um estudo criterioso, que leve em conta todos os agentes agressores do meio, compostos ácidos presentes na atmosfera e as características do concreto onde a proteção será aplicada.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a conclusão do estudo de caso, pôde-se constatar que a corrosão das armaduras é a manifestação patológica que mais afeta as estruturas estudadas. Por falta de recursos não foi possível realizar ensaios para determinar a real causa desse problema, porém alguns ensaios já foram realizados anteriormente por empresas especializadas e os dados obtidos confirmam que há uma grande incidência de deterioração através de mecanismos como: despassivação por cloreto e por carbonatação.

Os fatores que mais influenciam o processo de degradação dessas estruturas é a agressividade do ambiente, esse fator está diretamente relacionado a falha de projeto, pois no projeto deveria levar-se em consideração as características altamente agressivas do ambiente e, dessa forma, podia-se especificar algum tipo de proteção superficial e um revestimento mais espesso para as estruturas. Na época da execução do projeto os critérios normativos para definição do revestimento mínimo eram diferentes.

Outro fator que influencia o processo de degradação é a falta de cumprimento do plano de manutenção das estruturas. A refinaria possui um plano de manutenção bem estruturado, que prevê manutenções preventivas nas diversas estruturas, porém esse plano não é seguido, o que associado à alta agressividade do ambiente facilita a ação dos agentes agressores. Por fim, as recomendações para que o desempenho e conseqüentemente a durabilidade das estruturas sejam elevados é que o plano de manutenção seja revisado de forma que gere uma demanda que possa ser atendida com os recursos disponíveis na empresa, além da realização de um estudo minucioso que especifique um sistema de proteção superficial a ser aplicado nas estruturas de concreto armado que seja eficaz e economicamente viável, pois mesmo que o plano de manutenção seja seguido o ambiente em questão é muito agressivo e por isso necessita de proteção adicional.

6. REFERÊNCIAS

ARIVABENE, Antonio César. Patologias em estruturas de concreto armado estudo de caso. *Revista Online Especialize*, v. 1, n. 1, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 14931 : Execução de estruturas de concreto - procedimento*. Rio de Janeiro, 2004. 53 p.

. *NBR 15575-1 : Edificações habitacionais — desempenho parte 1: Requisitos gerais*. Rio de Janeiro, 2013. 60 p.

. *NBR 6118 : Projeto de estruturas de concreto — procedimento*. Rio de Janeiro, 2014. 238 p.

AZEVEDO, Minos Trocoli de. *Patologia das Estruturas de Concreto*: In: Isaia, g. c. (ed.) concreto: Ciência e tecnologia. 1. ed. São Paulo: IBRACON, 2011. v. 2. 1095-1128 p.

BAUER, Luiz Alfredo Falcão. *Materiais de Construção: Novos materiais para construção civil*. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013. v. 1.

BERTOLINI, Luca. *Materiais de Construção: patologia, reabilitação, prevenção*. São Paulo: Oficina de textos, 2010.

FIGUEIREDO, Enio Pazini; MEIRA, Gibson. Corrosão das armaduras das estruturas de concreto. *Boletim técnico da ALCONPAT Brasil*, v. 1, n. 1, 2013.

HELENE, Paulo R.L. *Manual Prático para Reparo e Reforço de Estruturas de Concreto*. 1. ed. São Paulo: Pini, 1988.

KAZMIERCZAK, Claudio S. *Proteções Superficiais de Estruturas de Concreto*: In: Isaia, g. c. (ed.) concreto: Ciência e tecnologia. 1. ed. São Paulo: IBRACON, v. 2. p. 1211-1232, 2011.

LIMA, Maryangela Geimba de. *Ações do Meio Ambiente sobre as Estruturas de Concreto*: In: Isaia, g. c. (ed.) concreto: Ciência e tecnologia. 1. ed. São Paulo: IBRACON, 2011. v. 1. 733-772 p.

NAKAMURA, Juliana. Cuidados para resistir à maresia. *Revista téchne*, Pini, n. 1, 2004. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/88/artigo286302-1.aspx>>. Acesso em: 02 dez. 2016.

SILVA, Luiz Carlos Pinto da; HELENE, Paulo. *Análise de Estruturas de Concreto com Problemas de Resistência a Fissuração*: In: Isaia, g. c. (ed.) *concreto: Ciência e tecnologia*. 1. ed. São Paulo: IBRACON, 2011. v. 2. 1129-1174 p.

SILVA, Paulo Fernando A. Durabilidade das estruturas de concreto aparente em atmosfera urbana. *Boletim técnico da escola politécnica da USP. Departamento de engenharia de construção civil*, v. 1, n. 1, 1993.

SOUZA, Vicente Custódio Moreira de; RIPPER, Thomaz. *Patologia, Recuperação e Reforma de Estruturas*. 1. ed. São Paulo: Pini, 1998.